



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09125209 A**(43) Date of publication of application: **13.05.97**

(51) Int. Cl. **C22C 38/00**  
**B21C 37/08**  
**C21D 8/10**  
**C21D 9/08**  
**C22C 38/28**

(21) Application number: **07308479**(22) Date of filing: **02.11.95**(71) Applicant: **NISSHIN STEEL CO LTD**

(72) Inventor: **NAGOSHI TOSHIRO**  
**ITO KENJIRO**  
**OKU MANABU**  
**FUJIMURA YOSHIYUKI**  
**UEMATSU YOSHIHIRO**

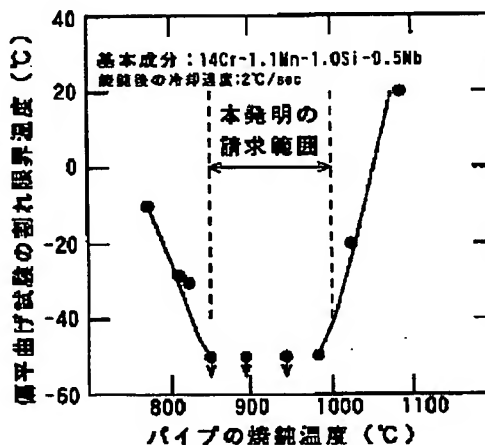
(54) **FERRITIC STAINLESS STEEL PIPE EXCELLENT  
 IN SECONDARY WORKING CRACKING  
 RESISTANCE AND ITS PRODUCTION**

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a welded pipe of ferritic stainless steel capable of preventing, with certainty, the occurrence of secondary cracking with superior reproducibility.

SOLUTION: This pipe is made by welding a sheet or strip of a steel having a composition consisting of, by mass,  $\leq 0.03$  C,  $\leq 2.0\%$  Si,  $\leq 2.0\%$  Mn, 5.0-30.0% Cr,  $\leq 0.03\%$  Ni, further one or more kinds among 0.05-1.0% Nb, 0.05-1.0% Ti, 0.05-3.0% Mo, and 0.2-1.0% Cu, and the balance Fe with impurities. Moreover, the pipe is a ferritic stainless steel pipe in which the content of inclusions existing in the steel as a stock for the pipe is regulated to  $\leq 0.3\text{mass}\%$  and also the crystalline grain size in the HAZ corresponds to No.3 or above. This pipe can be produced by performing annealing, after pipemaking, at 850-1,000°C and then cooling at  $\approx 1^\circ\text{C}/\text{sec}$  cooling rate.



(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00	3 0 2		C 2 2 C 38/00	3 0 2 Z
B 2 1 C 37/08			B 2 1 C 37/08	F
C 2 1 D 8/10		9270-4K	C 2 1 D 8/10	D
9/08			9/08	F
C 2 2 C 38/28			C 2 2 C 38/28	
審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 6 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-308479

(22) 出願日 平成7年(1995)11月2日

(71) 出願人 000004581

日新製鋼株式会社

東京都千代田区丸の内3丁目4番1号

(72) 発明者 名越 敏郎

山口県新南陽市野村南町4976番地 日新製  
鋼株式会社技術研究所内

(72) 発明者 伊東 建次郎

山口県新南陽市野村南町4976番地 日新製  
鋼株式会社技術研究所内

(72) 発明者 奥 学

山口県新南陽市野村南町4976番地 日新製  
鋼株式会社技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 和田 憲治 (外1名)

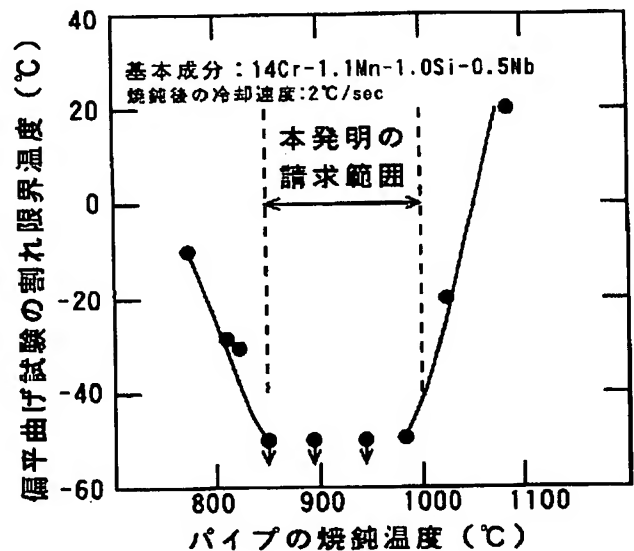
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 耐二次加工割れ性に優れたフェライト系ステンレス鋼パイプおよびその製造方法

## (57) 【要約】

【課題】 二次加工割れを再現性良く確実に防止できるフェライト系ステンレス鋼溶接パイプを提供する。

【解決手段】 質量%で、C:0.03%以下、Si:2.0%以下、Mn:2.0%以下、Cr:5.0~30.0%、N:0.03%以下を含有し、なおかつ、Nb:0.05~1.0%、Ti:0.05~1.0%、Mo:0.05~3.0%、Cu:0.02~1.0%のうちの1種以上を含有し、残部がFeが不純物からなる鋼板または鋼帯を溶接して造管したパイプであって、当該パイプの素材鋼中に存在する析出物の含有量が0.3質量%以下であり、かつ、HAZ部の結晶粒度が結晶粒度番号で3番以上である、フェライト系ステンレス鋼パイプ。このパイプは、造管後に850~1000℃の温度範囲で焼鈍したのち1℃/sec以上の冷却速度で冷却する製造方法によって得られる。



**【特許請求の範囲】**

**【請求項1】** 質量%で、C : 0.03%以下、Si : 2.0%以下、Mn : 2.0%以下、Cr : 5.0~30.0%、N : 0.03%以下を含有し、なおかつ、Nb : 0.05~1.0%、Ti : 0.05~1.0%、Mo : 0.05~3.0%、Cu : 0.02~1.0%のうちの1種または2種以上を含有し、残部がFeおよび製造上の不可避免的な不純物からなる鋼板または鋼帯を溶接して造管したパイプであって、当該パイプの素材鋼中に存在する析出物の含有量が0.3質量%以下であり、かつ、HAZ部の結晶粒度がJIS-G0552に準拠した結晶粒度番号で3番以上である、耐二次加工割れ性に優れたフェライト系ステンレス鋼パイプ。

**【請求項2】** 造管したパイプを、850~1000℃の温度範囲で焼鈍したのち1℃/sec以上の冷却速度で冷却する、請求項1に記載の耐二次加工割れ性に優れたフェライト系ステンレス鋼パイプの製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【発明の属する技術分野】** 本発明は、溶接により造管された耐二次加工割れ性に優れたフェライト系ステンレス鋼パイプおよびその製造方法に関するものである。

**【0002】**

**【従来の技術】** 耐熱用フェライト系ステンレス鋼は、オーステナイト系ステンレス鋼よりも熱膨張係数が小さく、加熱・冷却の繰り返される用途に有利であること、比較的安価であることから、自動車排ガス経路部材や各種プラント材などの様々な分野で使用され始めている。特に、排ガス経路部材として使用されるステンレス鋼パイプは、過酷な加工が施されるため、耐熱性に加え、優れた加工性および低温靱性が要求される。しかしながら、これらの材料には、通常、高温強度や耐酸化性を向上させるためにNb、Ti、Si、Moなどの強化元素を添加しているため、加工性および低温靱性はむしろ低下する傾向にある。

**【0003】** ステンレス鋼パイプは、製造コストが高いシームレスパイプを除いて、一般に、鋼板または鋼帯の幅方向両端どうしを溶接して造管される。溶接方法としては、TIG溶接、高周波溶接、レーザー溶接などが挙げられる。これらの溶接方法のいずれで造管しても、造管時に塑性ひずみに加わるため、管全体の延性は、同一成分のステンレス冷延鋼板に比べて若干劣る。また、溶接部およびHAZ部は、これら以外の部分よりも結晶粒が大きいいため、管全体でみると加工性や低温靱性は劣っている。

**【0004】** ステンレス鋼パイプの加工性を改善する手段として、造管時に発生する塑性ひずみを極力少なくする造管方法が提案されている。しかしながら、造管方法の改善のみではステンレス冷延鋼板なみの十分な加工性は必ずしも得られない。そこで、さらに良好な加工性を

得るためには、造管したパイプをさらに焼鈍する方法が採られている。この焼鈍は材料の軟化が目的であるから、フェライト系ステンレス鋼では一般に600~800℃程度の温度で行われる。この焼鈍を行ったパイプ（以下焼鈍パイプと記す）は、造管ままのパイプよりも優れた加工性を示しているため、たとえば自動車排ガスの経路部材などに多く用いられている。

**【0005】**

**【発明が解決しようとする課題】** 近年、自動車排ガス経路部材は、省スペースや排気効率の向上のため、より複雑な構造になりつつある。これに伴ってパイプの形状も複雑となり、厳しい加工が施される傾向にある。つまり、造管ままのパイプ、あるいは焼鈍パイプに対して施される曲げ、偏平、縮管、拡張などの一次加工だけでなく、一次加工としての曲げ加工が施されたパイプに対してさらに拡張、縮管等を行うといった、いわゆる二次加工も頻繁に行われるようになってきている。二次加工は、延性破断限界に近い状態での加工となるため、一次加工に比べると割れ発生に対して極めて厳しい条件での加工である。

**【0006】** このような二次加工を施す場合には、600~800℃程度の温度で行われる前述の造管後の焼鈍によっても、必ずしも割れ発生を防止できるとは限らない。二次加工割れは、材料の延性破断限界範囲内で加工したときに発生する割れであり、この二次加工割れを確実に防止する手段は明確にされていない。このような現状においては、二次加工割れの発生率を予測することが困難であり、操業中に急に二次加工割れが頻発するといった不測のトラブルを招くことがある。

**【0007】** 二次加工割れの発生を防止する手段が明確にされていない理由として、耐二次加工割れ性に優れたパイプに関する金属組織的な知見が得られていないことが挙げられる。本発明の目的は、二次加工割れの発生を金属組織的な観点からとらえ、このような二次加工割れを再現性良く確実に防止できるフェライト系ステンレス鋼パイプを提供することにある。

**【0008】**

**【課題を解決するための手段】** 上記目的は、質量%で、C : 0.03%以下、Si : 2.0%以下、Mn : 2.0%以下、Cr : 5.0~30.0%、N : 0.03%以下を含有し、なおかつ、Nb : 0.05~1.0%、Ti : 0.05~1.0%、Mo : 0.05~3.0%、Cu : 0.02~1.0%のうちの1種または2種以上を含有し、残部がFeおよび製造上の不可避免的な不純物からなる鋼板または鋼帯を溶接して造管したパイプであって、当該パイプの素材鋼中に存在する析出物の含有量が0.3質量%以下であり、かつ、HAZ部の結晶粒度がJIS-G0552に準拠した結晶粒度番号で3番以上である、耐二次加工割れ性に優れたフェライト系ステンレス鋼パイプによって達成される。また、このパイプは、造

管後に850～1000℃の温度範囲で焼鈍したのち1℃/sec以上の冷却速度で冷却する製造方法によって得られる。

【0009】ここで、析出物とは主として炭化物であり、ラーベス相が生成した場合はそれも含む。析出物の含有量は、溶接部、HAZ部およびそれ以外の部分を全て含んだパイプ素材中における含有量をいう。HAZ部とは、溶接熱影響部をいう。

【0010】

【発明の実施の形態】本発明者らは、ステンレス鋼パイプの二次加工割れの発生状況を詳細に調査した結果、割れはフェライト系ステンレス鋼に特有のもので冬季に発生しやすいこと、割れの形態は脆性的なへき開破壊であること、一次加工ではこの割れはほとんど起こらないこと、曲げ加工を行ったのちの二次加工時で比較的多く発生することなどを明らかにした。本発明はこれらの知見に基づいて完成したものである。以下に、本発明を特定する事項についての規定理由を説明する。

【0011】CとNは、一般的にはクリープ強さやクリープ破断強さなどの高温強度を向上させるために有効な元素である。しかし、CとNの含有量が多くなると耐酸化性、加工性、靱性が低下する。また、CとNを多く添加するとNbやTiなどの炭窒化物の添加量を増加させる必要があり、コスト高になる。そこで本発明においてはCの含有量、Nの含有量とも0.03質量%以下とした。

【0012】Siは耐高温酸化性を改善する元素である。しかし、過剰に添加すると硬さが増し、加工性および靱性が低下する。そこでSiの含有量は2.0質量%以下とした。

【0013】Mnは、高温酸化特性、特に表層酸化物の密着性を著しく改善する元素である。しかし、過剰に含有すると硬質となり、低温靱性や加工性の低下を招く。そこでMnの含有量は2.0質量%以下とした。

【0014】Crは、フェライト相を安定させ、また、耐食性および耐高温酸化性を改善させるため必要不可欠な元素である。耐高温酸化性を良好にするためにはCrの含有量は多いほど好ましい。しかし、過剰に含有すると鋼の脆化を招き、また、硬質となって、加工性を劣化させる他、原料価格が高くなる。そこでCrの含有量は5.0～30.0質量%とした。耐食性および耐高温酸化性と、加工性をより高いレベルで両立させるためには、Crの含有量は10.0～20.0質量%の範囲が望ましい。

【0015】Nbは、高温強度の上昇に有効に作用する元素である。高温強度を上昇させるためには少なくとも0.05%以上含有する必要がある。一方、Nbを過剰に含有すると低温靱性や加工性の低下を招く。高温強度を維持し、なおかつ、低温靱性や加工性低下にあまり影響を及ぼさないようにするため、Nbの含有量は0.0

5～1.0質量%とした。

【0016】Tiは、鋼板のr値を向上させ、深絞り性に有効な元素である。しかし、Tiを添加するとTiNを生成しやすく、鋼板におけるヘゲ疵の発生による歩留低下や、溶接性の低下を招く。そこでTiの含有量は0.05～1.0質量%以下とした。

【0017】Moは、耐食性、耐酸化性および高温強度の改善に有効な元素である。しかし、多量に含有すると鋼の脆化を招く。そこでMoの含有量は0.05～3.0質量%とした。

【0018】Cuは、低温靱性と加工性の両方を向上させるのに有効な元素であり、その効果は0.02%の含有で顕著となる。しかし、Cuを過剰に含有すると加工性に支障をきたす。そこでCuの含有量は0.02～1.0質量%とした。

【0019】パイプの素材鋼中に存在する析出物の含有量、およびHAZ部の結晶粒度は、本発明を特定するうえで最も重要な事項である。本発明者らは、種々の化学組成を有する鋼について金属組織と二次加工性の関係を調査することによって、析出物の含有量およびHAZ部の結晶粒度を規定するに至った。以下にその調査方法と結果を、Fe-14%Cr-1.0%Si-1.1%Mn-0.5%Nb鋼を用いて行った試験について例示する。

【0020】供試材としてφ42.7mm×2.0mmの高周波造管パイプを種々の温度で焼鈍した焼鈍パイプを用いた。二次加工性は、以下に示す低温曲げ偏平試験を行って調査した。すなわち、高周波溶接部が曲げの外側になるように、中心軸の半径42.7mmで90°に曲げたのち（一次加工）、各温度にてJIS-G0202-No.2021に準拠した偏平を径の1/3の高さまで行い（二次加工）、割れの有無を調査した。そして、低温曲げ偏平試験で割れが発生しない限界の温度（以下、割れ限界温度と記す）を、二次加工性を評価する指標とした。析出物の含有量は、パイプから溶接部を含むようにサンプルを切り出し、このサンプルを10%AA液（10%アセチルアセトン+1%テトラメチルアンモニウムクロライド+メタノール）を用いて電解して析出物を抽出し、析出物の重量を電解量で除して求めた。HAZ部の結晶粒度は、JIS-G0552に準拠した比較法により求めた。

【0021】図1にその試験結果を示す。図中の数字は、割れ限界温度を表している。実際のパイプの加工で割れを防止するためには、この割れ限界温度が-50℃以下であればよいことを本発明者らは別途実験により確かめている。例えば、一次加工後のパイプについてその割れ限界温度が-50℃以下であれば、そのパイプを二次加工した際に割れの発生が防止できる。図1から、析出物の含有量を0.3質量%以下とし、かつ、HAZ部の結晶粒度を3番以上としたときに、割れ限界温度が

5

−50℃以下になることがわかる。このような試験結果を根拠として、析出物の含有量とHAZ部の結晶粒度を本発明で規定する範囲に決定した。

【0022】図2に、図1の試験結果をもとに、低温曲げ偏平試験における割れ発生限界温度に及ぼすパイプの焼鈍温度の影響について整理した結果を示す。図2の結果から、良好な耐二次加工割れ性を有するパイプは、パイプの焼鈍温度を850～1000℃の範囲に厳しく規定することによって得られることが明らかになった。この理由は、図1と図2を対比すればわかるように、焼鈍温度が低い場合には、析出物が多量に発生するため、これが脆性破壊の起点となり、また、焼鈍温度が高い場合には、HAZ部の結晶粒が粗大化するため靱性そのものが低下するからであると考えられる。

【0023】上述した温度範囲で焼鈍を行ったのち、冷却過程で析出物が生成して0.3質量%を越えるようなことがあってはならない。そのために、冷却速度を1℃/sec以上に規制する。

【0024】本発明の方法は、焼鈍における加熱速度お\*

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Ti	Mo	Cu	N
A	0.007	1.04	1.10	0.026	0.006	14.05	0.55	<0.01	<0.01	0.08	0.010
B	0.015	1.22	1.45	0.040	0.030	14.49	0.69	<0.01	<0.01	0.24	0.015
C	0.004	0.79	0.82	0.009	0.001	13.55	0.31	<0.01	<0.01	0.03	0.009
D	0.010	0.50	0.80	0.052	0.012	12.01	0.58	<0.01	<0.01	0.23	0.011
E	0.016	0.65	0.20	0.023	0.009	19.35	0.41	0.06	<0.01	0.45	0.018
F	0.008	0.23	0.26	0.010	0.007	18.01	0.39	<0.01	0.56	0.01	0.012
G	0.014	0.31	0.90	0.027	0.004	18.46	0.45	<0.01	2.02	0.20	0.012
H	0.007	0.34	0.40	0.030	0.008	11.25	0.02	0.26	<0.01	0.03	0.005

【0027】二次加工性は、前述の低温曲げ偏平試験による割れ限界温度を求めて評価した。また、参考のために、焼鈍ままのパイプ（曲げ加工を行っていないもの）についても直接低温偏平試験を行って、一次加工性をも調査した。析出物の含有量、およびHAZ部の結晶粒度

6

\*および均熱時間については特に規定しないが、加熱速度が遅すぎると加熱中に析出物が生成し、均熱時間が短すぎると加熱中に生成した析出物が再固溶しない恐れがある。そこで、加熱速度は1℃/sec以上、均熱時間は10min以下とするのが好ましい。また、一般に焼鈍を行った後に、形状の矯正や酸洗による焼鈍スケール除去等を行うが、これらの方法についてはとくに限定されるものではない。

【0025】

10 【実施例】表1に示すA～Hの化学組成のフェライト系ステンレス鋼を溶製し、熱間圧延、焼鈍、冷間圧延を経て2.0mmの板とし、800～1050℃の温度で焼鈍したのち酸洗して、造管用の鋼帯を得た。これらの鋼帯を、高周波溶接にて外径42.7mmのパイプに造管したのち、種々の温度で焼鈍を行い、長さ500mmに切断して加工試験用パイプを得た。

【0026】

【表1】

についても、前述の方法で調査した。表2に、これらの試験結果を示す。

【0028】

【表2】

試料	鋼	パイプの 焼鈍温度 (℃)	焼鈍後の 冷却速度 (℃/sec)	析出物 含有量 (mass%)	HAZ部の 結晶粒 度番号	一次加工 試験での 割れ温度	二次加工 試験での 割れ温度	
本 発 明 例	1	A	940	2.0	0.3	6	○	○
	2	A	960	2.0	0.2	5	○	○
	3	A	960	1.0	0.3	5	○	○
	4	A	960	5.0	0.1	5	○	○
	5	A	960	9.0	0.1	5	○	○
	6	A	980	2.0	0.1	4	○	○
	7	B	1000	1.0	0.2	3	○	○
	8	B	850	2.0	0.1	3	○	○
	9	B	1000	5.0	0.1	3	○	○
	10	C	890	1.0	0.3	7	○	○
	11	C	960	2.0	0.2	6	○	○
	12	C	1000	2.0	0.1	4	○	○
	13	D	960	2.0	0.3	5	○	○
	14	E	960	2.0	0.2	5	○	○
	15	F	960	2.0	0.2	5	○	○
	16	G	1000	2.0	0.3	5	○	○
	17	H	850	2.0	0.1	3	○	○
比 較 例	18	A	800**	1.0	0.4*	4	○	-30℃
	19	A	1050**	2.0	0.2	1*	○	25℃
	20	A	890	0.8**	0.8*	6	○	-10℃
	21	B	1030**	2.0	0.2	0*	○	25℃
	22	C	840**	2.0	1.0*	6	○	0℃

\*印 : 請求項1からはずれることを示す

\*\*印 : 請求項2からはずれることを示す

○印 : -50℃で試験を行っても割れが発生しないことを示す

【0029】No.1～No.17は、本発明によるものである。いずれの鋼種も、析出物の含有量が0.3質量%以下で、なおかつ結晶粒度番号が3番以上であるため、低温曲げ偏平試験（二次加工性試験）での割れ限界温度は-50℃以下である。これらのパイプは、いずれも焼鈍温度を850℃～1000℃、焼鈍後の冷却速度を1℃/sec以上として製造したものであるため、上述の析出物比率および結晶粒度番号を確保された。

【0030】No.18～No.22は、比較例を示したものである。No.18および22は焼鈍温度が低く、No.20は焼鈍後の冷却速度が遅いため、析出物の生成量が本発明規定範囲から外れ、その結果、低温曲げ偏平試験（二次加工性試験）において-50℃よりも高い温度で割れが発生した。No.19および21は焼鈍温度が高いため、HAZ部の結晶粒度番号が本発明規定範囲から外れ、その結果、低温曲げ偏平試験（二次加工性試験）において-50℃よりも高い温度で割れが発生した。なお、本発明および比較例のいずれも、一次加工を受けていない素管の低温偏平試験（一次加工性試験）で

は-50℃でも割れが発生していないことから、軽度の加工に対してはこれらのパイプは全て十分な加工性を有すると言える。

#### 【0031】

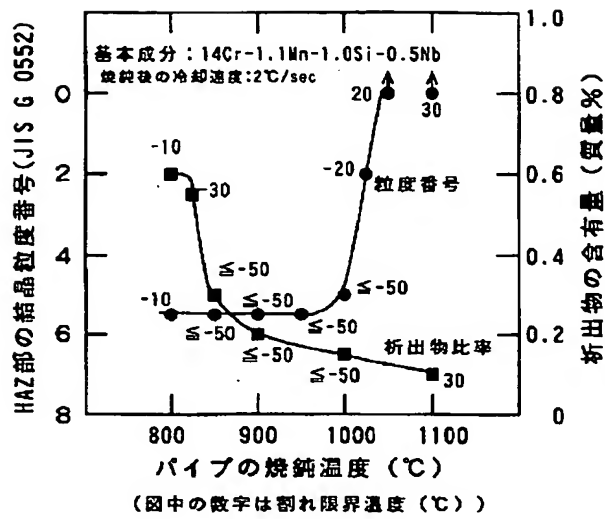
【発明の効果】本発明によれば、従来不明確であったフェライト系ステンレス鋼溶接パイプの二次加工割れ防止手段を、金属組織的な観点からとらえて明確化したので、再現性良く確実に二次加工割れを防止できるフェライト系ステンレス鋼パイプが提供できるようになった。このため、フェライト系ステンレス鋼を用いた複雑形状のパイプが安定して製造できるようになり、特に、自動車排ガス経路部材等の用途においてフェライト系ステンレス鋼の普及が図られる。

#### 【図面の簡単な説明】

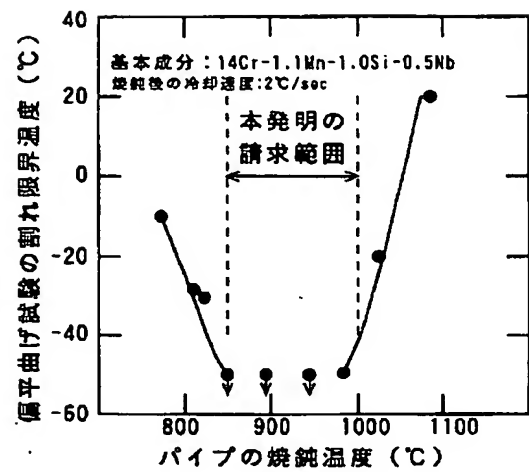
【図1】焼鈍パイプの二次加工割れ限界温度と、析出物含有量およびHAZ部の結晶粒度番号の関係を示すグラフ。

【図2】焼鈍パイプの二次加工割れ温度に及ぼすパイプの焼鈍温度の影響を示すグラフ。

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 藤村 佳幸  
山口県新南陽市野村南町4976番地 日新製  
鋼株式会社技術研究所内

(72)発明者 植松 美博  
千葉県市川市高谷新町7番地の1 日新製  
鋼株式会社技術研究所内